

На правах рукописи

Карпова Зоя Марленовна

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПО ДАННЫМ  
БАКСАНСКИХ НАЗЕМНЫХ ДЕТЕКТОРОВ**

01.03.03 – физика Солнца

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук**

Троицк-2008

Работа выполнена в Институте ядерных исследований  
Российской Академии Наук

Научный руководитель доктор физико-математических наук  
Вашенюк Эдуард Владимирович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук  
Стожков Юрий Иванович

доктор физико-математических наук  
Борог Владимир Викторович

Ведущая организация: Институт солнечно-земной физики  
Сибирского отделения  
Российской Академии Наук

Защита диссертации состоится «28» апреля 2008 г.  
в «14<sup>28</sup>» часов на заседании Диссертационного совета Д 002.237.01 при Институте земного  
магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова Российской  
Академии Наук (ИЗМИРАН) по адресу: 142190, г.Троицк, Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЗМИРАН.

Автореферат разослан «28» марта 2008 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000431893

Ученый секретарь диссертационного совета

Доктор физико-математических наук: *Ю.М. Михайлов* Ю.М. Михайлов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

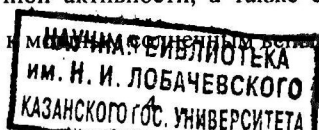
Изучение наземных возрастаний солнечных космических лучей (СКЛ), называемых также событиями GLE (Ground Level Enhancements), в области энергий от 1 до 15 ГэВ обычно проводится с помощью мировой сети нейтронных мониторов (НМ). Во время некоторых событий GLE возрастания солнечных космических лучей регистрируются также детекторами широких атмосферных ливней (ШАЛ) по темпу счета одиночных частиц космических лучей. В этом случае происходит независимое срабатывание отдельных счетчиков установки, в отличие от собственно ШАЛ, когда происходит одновременное срабатывание нескольких счетчиков. Темп счета одиночных частиц в сотни раз превышает темп счета ШАЛ. Впервые достоверная регистрация СКЛ на установке ШАЛ была выполнена на Баксанском детекторе КОБЕР во время мощной солнечной вспышки 29 сентября 1989 года. Позже возрастания СКЛ были зафиксированы и на других установках ШАЛ и мюонных детекторах (MILAGRO – 6 ноября 1997 г. и 20 января 2005 г., GRAND – 15 апреля 2001 г. и 20 января 2005 г., L3+C и ТЕМП – 14 июля 2000 г., УРАГАН – 13 декабря 2006 г.). Однако систематическое изучение СКЛ на установках ШАЛ предпринято только в настоящей работе. Баксанские установки ШАЛ: АНДЫРЧИ, КОБЕР и Баксанский Мюонный Детектор (БМД) дают наиболее полный ряд данных по регистрации СКЛ высокой энергии в течение 21-23 циклов солнечной активности. Они показывают, что СКЛ с энергией  $\geq 5$  ГэВ наблюдаются приблизительно в 50% событий GLE. Ранее считалось (на основе данных нейтронных мониторов), что в большинстве событий GLE верхний предел энергии СКЛ значительно меньше.

Данные установок ШАЛ, используемые для детектирования СКЛ, представляют собой суммарный темп счета одиночных частиц (мюоны, электроны, гамма-кванты, адроны), в отличие от собственно ливней, вызывающих одновременное срабатывание нескольких детекторов установки. Область энергии первичных частиц, давших, в конечном счете,

срабатывание отдельных счетчиков установок ШАЛ, близка в этом случае к диапазону энергии нейтронных мониторов, размещенных на данной широте. При этом главным преимуществом установок ШАЛ является их большой темп счета, в сотни раз превосходящий скорость счета НМ. Благодаря этому установки АНДЫРЧИ, КОВЕР и БМД имеют статистическую точность в десятки раз лучше, что и позволяет регистрировать потоки частиц, которые в десятки раз меньше, чем могут фиксировать нейтронные мониторы.

Для получения параметров СКЛ по данным детекторов ШАЛ были вычислены функции множественности (кратности), функции отклика и функции сбора вторичных частиц сначала только для установки АНДЫРЧИ. Позже были проведены расчеты и для всего Баксанского комплекса установок: АНДЫРЧИ, КОВЕР, и БМД. Сравнение получаемых данных по регистрации космических лучей и рассчитанных характеристик каждой из этих установок позволяет, с одной стороны, восстанавливать первичный спектр космических лучей, а с другой – позволяет проверить модели взаимодействия первичных и вторичных космических лучей с атмосферой и магнитосферой Земли, используемые при расчетах.

**Актуальность темы.** В последние десятилетия был достигнут значительный прогресс в понимании физики космических лучей и процессов, идущих на Солнце и в гелиосфере, благодаря регулярным наблюдениям на космических аппаратах. Эти измерения дают информацию о сравнительно низкоэнергичных частицах. Наблюдения на нейтронных мониторах дают возможность продвинуться в области энергий до нескольких ГэВ. Актуальность настоящей работы заключается в том, что она позволяет расширить этот диапазон до 5-10 и более ГэВ на основе использования для регистрации СКЛ ливневых установок космических лучей. В свою очередь, это дает нам возможность продвинуться в понимании имеющихся различий между периодами солнечной активности, а также скрытых спорадических механизмов, приводящих к малым солнечным вспышкам.





Результаты данной работы актуальны и для пилотируемой космонавтики, поскольку продолжает существовать вопрос о реальной эффективной защите экипажа и аппаратуры, как нынешних орбитальных станций, так и исследователей во время будущих длительных полетов на Луну и Марс от высокоэнергичной проникающей солнечной радиации.

Вместе с тем, регулярные наблюдения на Баксанских установках ШАЛ в совокупности с данными мировой сети нейтронных мониторов позволяют изучать наземные возрастания СКЛ в области энергий выше 5 ГэВ, где до настоящего времени, как правило, отсутствуют данные других детекторов.

**Цели и задачи работы.** Исследование вариаций космических лучей (КЛ), как правило, приводит к решению обратной задачи. В данном случае это означает, что необходимо определить энергетический спектр вариаций первичных КЛ по экспериментально наблюдаемым данным для различных вторичных компонент КЛ. Как хорошо известно, все детекторы космических лучей, расположенные на поверхности Земли, регистрируют вторичные космические лучи. Следовательно, чтобы получить первичный спектр солнечных космических лучей, необходимо проделать обратный пересчет, от зарегистрированного темпа счета конкретного детектора к первичной интенсивности СКЛ.

Для подобного анализа необходимыми являются функции кратности генерации вторичных частиц, отклика и сбора одиночных частиц различных вторичных компонент КЛ детекторами ШАЛ. Эти функции и были рассчитаны для трех Баксанских установок: АНДЫРЧИ, КОВЕР и БМД.

Кроме расчета этих функций нужно показать, что детекторы широких атмосферных ливней являются эффективными для изучения солнечных космических лучей и могут использоваться наряду с мировой сетью нейтронных мониторов в области энергий выше 5 ГэВ.

Вместе с нейтронными мониторами детекторы широких атмосферных ливней дают более полную информацию о наземных возрастаниях СКЛ. Это,

в свою очередь, позволяет исследовать физические процессы, происходящие непосредственно в фотосфере, хромосфере Солнца и в солнечной короне.

Таким образом, постановка задачи сводится к тому, что необходимо:

- а) рассчитать функции множественности (кратности) генерации вторичных частиц, функции отклика и функции сбора одиночных частиц различных вторичных компонент КЛ;
- б) показать, что детекторы широких атмосферных ливней являются эффективными для изучения солнечных космических лучей;
- в) проанализировать данные Баксанских детекторов во время максимально возможного количества событий GLE и получить временные профили и величины возрастаний СКЛ в максимуме каждого события;
- г) получить первичный спектр и анизотропию солнечных космических лучей для отдельных событий GLE.

### **Научная новизна.**

1. С помощью трех Баксанских детекторов: АНДЫРЧИ, КОВЕР и БМД были впервые зарегистрированы и систематически изучены эффекты СКЛ (15 возрастаний СКЛ из 31 исследованного события GLE). Амплитуда сигнала практически во всех случаях составляет десятые доли процента. Такие возрастания не могут быть зафиксированы на стандартных нейтронных мониторах с такой же (или большей) жесткостью геомагнитного обрезания ( $\sim 6$  ГВ).

2. Для анализа данных трех Баксанских детекторов АНДЫРЧИ, КОВЕР и БМД были впервые вычислены функции множественности (кратности) генерации вторичных частиц, коэффициенты связи и функции сбора одиночных вторичных частиц. Эти функции необходимы для получения энергетических спектров СКЛ выше 5 ГэВ в событиях GLE (наземных возрастаниях СКЛ).

3. Показано, что полученные коэффициенты связи и функции отклика существенно превышают соответствующие значения для

**нейтронного монитора.** Вследствие этого наземные установки Баксанского исследовательского комплекса (БНО ИЯИ РАН) являются гораздо более чувствительными к СКЛ с энергией выше 5 ГэВ по сравнению с нейтронными мониторами. Они обладают также достаточно высокой эффективностью при исследовании релятивистских солнечных протонов.

4. Анализ экспериментальных данных Баксанских детекторов АНДЫРЧИ, КОВЕР и БМД с помощью расчетной методики, представленной в диссертации, показал, что величина энергии СКЛ, регистрируемых Баксанскими детекторами составляет более 5 ГэВ. Это означает, что **СКЛ с энергией выше 5 ГэВ наблюдаются не менее чем в 50% событий GLE, регистрируемых нейтронными мониторами.** Ранее считалось (на основе данных НМ), что в большинстве этих событий частиц такой энергии нет.

5. **Впервые получены спектры и другие характеристики релятивистских солнечных протонов при жесткостях выше 6 ГВ для события GLE 20 января 2005 г. с использованием, как данных Баксанских наземных установок, так и мировой сети нейтронных мониторов.** Изучена динамика изменения потока релятивистских СКЛ в этом событии.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Впервые зарегистрированы возрастания высокоэнергичных СКЛ на Баксанских наземных установках ШАЛ АНДЫРЧИ и КОВЕР, а также на Баксанском мюонном детекторе (БМД). Проведено их систематическое изучение. Показана высокая эффективность Баксанских наземных детекторов для изучения релятивистских солнечных космических лучей.

2. Рассчитаны функции отклика на различные первичные спектры и функции сбора одиночных вторичных частиц для наземных установок Баксанского исследовательского комплекса с точностью, необходимой для проведения расчетно-экспериментальных исследований событий с релятивистскими солнечными космическими лучами.

3. Получены характеристики возрастных СКЛ (величины возрастных, профили событий) в области энергий выше 5 ГэВ для 15 событий GLE из 31 исследованного за время работы наземных установок Баксанского исследовательского комплекса (1981-2006 гг.) – более чем за два цикла солнечной активности.

**Практическая значимость работы.** Результаты данной работы позволили найти дополнительный надежный источник данных о релятивистских СКЛ при энергиях выше 5 ГэВ в качестве установок ШАЛ БНО ИЯИ РАН. В совокупности с мировой сетью нейтронных мониторов, Баксанские наземные детекторы являются высокоэффективным средством для изучения релятивистских СКЛ в широком диапазоне энергий.

Используемая методика моделирования потока космических лучей с учетом реальной конфигурации каждой ливневой установки и отдельного счетчика может быть применена также для расчета коэффициентов связи и функций отклика других ливневых установок при изучении релятивистских СКЛ. Это позволит использовать существующие детекторы ШАЛ для создания мировой сети ливневых установок и мюонных детекторов, которые в совокупности с мировой сетью нейтронных мониторов дадут более полную картину при исследовании релятивистских СКЛ.

**Личный вклад автора.** Постановка и формулировка задачи, разработка и применение численных методов решения, а также получение основных результатов по теме диссертации выполнены лично автором. Анализ экспериментальных данных осуществлялся автором совместно с другими сотрудниками БНО ИЯИ РАН. Основные статьи, опубликованные по теме, написаны при определяющем вкладе автора диссертации. В 2003 году при участии автора был модернизирован Баксанский нейтронный монитор (БНМ). С 2004 года при участии автора БНМ был выведен в полный рабочий режим и включен в состав мировой сети нейтронных мониторов. До августа

2007 г. автор осуществлял оперативный контроль за работой БНМ и непрерывным накоплением данных, выполнял анализ полученной информации и являлся в БНО ИЯИ РАН одним из основных исполнителей по теме «Исследования модуляционных эффектов галактических и солнечных космических лучей методом наземного мониторинга» Программы Президиума РАН «Нейтринная физика».

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались на семинарах Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН (14.04.2006), отдела космических лучей ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова (06.03.2007) и отдела лептонов высоких энергий и нейтринной астрофизики (ОЛВЭНА) ИЯИ РАН (15.06.2007), на Международных семинарах «Физика авроральных явлений» в г. Апатиты (2006 г. и 2007 г.), а также были представлены на Всероссийских конференциях по космическим лучам (г. Москва, 2004 г. и 2006 г.) и на Международных конференциях по космическим лучам (г. Цукуба, Япония, 2003 г. и г. Пуна, Индия, 2005 г.).

**Публикации.** По теме диссертации всего опубликовано 9 научных работ. Из них в рецензируемых журналах – 4, в трудах конференций – 5. Общее количество публикаций автора – 12.

**Объем диссертации** составляет 160 страниц, в том числе 46 рисунков, 9 таблиц, 45 формул, список литературы, включающий в себя 161 наименование, а также основные экспериментальные данные, приведенные в Приложении А – еще 20 рисунков дополнительно.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Диссертация посвящена расчетно-экспериментальному исследованию характеристик релятивистских СКЛ с использованием Баксанского

комплекса наземных установок: АНДЫРЧИ, КОВЕР, БМД и БНМ. В работе рассматривается широкий круг вопросов, связанных с проблемой:

- 1) экспериментальное исследование наземных возрастных СКЛ, зарегистрированных Баксанскими детекторами после вспышек на Солнце;
- 2) воссоздание первичного потока космических лучей на границе земной атмосферы и магнитосферы по экспериментальному отклику (возрастаниям темпа счета вторичных частиц) Баксанских наземных детекторов;
- 3) расчет функций множественности (кратности) и функций отклика для каждой Баксанской наземной установки;
- 4) расчет дифференциальных и интегральных функций сбора вторичных частиц для указанных детекторов.
- 5) получение спектров и анизотропии СКЛ для отдельных событий GLE.

**Во Введении** сделан анализ проблематики, обоснована актуальность темы исследования, сформулированы основные цели и задачи. Отмечена научная новизна и практическая ценность, приведены положения, выносимые на защиту, кратко изложено содержание работы.

**Постановка задачи.** Важным специфическим моментом, который существенно используется в настоящей работе, является то, что все Баксанские установки, созданные для регистрации КЛ, находятся в одном месте, на одной географической и геомагнитной широте и долготе и представляют собой единый Баксанский физический исследовательский комплекс. Все детекторы работают и регистрируют КЛ независимо друг от друга. Поэтому их данные могут рассматриваться, как независимая регистрация одних и тех же процессов в КЛ разными детекторами, находящимися в одинаковых внешних условиях. Данные по регистрации КЛ поступают в режиме реального времени (on-line) на файл-сервер Баксанской нейтринной обсерватории, откуда их можно копировать и анализировать в соответствии с поставленными физическими задачами.

Для получения характеристик релятивистских солнечных протонов (РСП) с использованием данных Баксанских детекторов необходимо знать и учитывать следующие основные их особенности:

- 1) какими частицами порождаются, каким образом формируются и регистрируются сигналы, полученные на каждой установке;
- 2) каков состав, энергетический спектр и угловые распределения регистрируемых вторичных частиц при заданном пороге срабатывания каждого детектора;
- 3) каким энергиям первичных КЛ соответствует регистрация различных одиночных вторичных частиц;
- 4) какова результирующая эффективность регистрации первичных КЛ с использованием одиночной компоненты для каждой установки;
- 5) чем определяется, в конечном счете, высокий темп счета каждой Баксанской установки, что и обеспечивает возможность изучения с их помощью СКЛ высокой энергии.

Ответить на эти вопросы можно с помощью вычисления функций множественности (кратности), функций отклика и функций сбора одиночных вторичных частиц. Это, в свою очередь, позволяет расширить диапазон энергий для исследований СКЛ в область выше 5 ГэВ, по сравнению с имеющимися данными мировой сети нейтронных мониторов.

**Начальные условия и основные характеристики детекторов.** При вычислении искоемых функций кратности генерации, функций сбора и функций отклика установок АНДЫРЧИ, КОВЕР и БМД были приняты следующие начальные условия и основные характеристики детекторов:

- 1) Давление  $h_0$  на уровне наблюдения (глубина атмосферы) есть фиксированная величина, равная  $800 \text{ г/см}^2$  – для АНДЫРЧИ (высота расположения установки равна 2050 м над уровнем моря) и  $835 \text{ г/см}^2$  – для КОВРА и БМД (1700 м над уровнем моря);
- 2) Географические координаты расположения Баксанских установок равны  $43.28^\circ$  с.ш. и  $42.69^\circ$  в.д.;

3) Эффективная жесткость геомагнитного обрезания для вертикального потока первичных частиц составляет 5.7 ГВ в магнитоспокойное время и 5.6÷5.5 ГВ в магнитовозмущенные периоды солнечной активности (было рассчитано в соответствии с моделью магнитосферы Цыганенко–1989);

4) Поток КЛ за пределами атмосферы либо считался изотропным, либо расчет проводился для фиксированных зенитных углов, чтобы при необходимости можно было рассматривать другие угловые распределения для СКЛ;

5) Расчет выполняется только для протонов первичных КЛ без учета вклада ядер, поскольку доля ядер в СКЛ составляет меньше 1%.

**В 1-й главе** приводится необходимое описание Баксанских наземных установок: АНДЫРЧИ, КОВЕР, БМД и БНМ, а также структурные схемы регистрации одиночной компоненты КЛ и сбора информации.

Даются сравнительные характеристики для наземных установок Баксанской нейтринной обсерватории (БНО ИЯИ РАН). Все установки комплекса расположены в Баксанском ущелье на Северном Кавказе, в одной географической точке с координатами 43.28° северной широты и 42.69° восточной долготы. БНО представляет собой уникальный комплекс, дающий возможность для изучения релятивистских солнечных космических лучей с помощью нескольких отличающихся установок, находящихся в точке с одинаковым геомагнитным порогом. С целью адекватного проведения этих исследований был выполнен расчет асимптотических направлений прихода релятивистских космических лучей с энергией в диапазоне 5-20 ГэВ, а также расчет эффективного геомагнитного порога для места расположения Баксанской нейтринной обсерватории.

Далее в первой главе рассматривается методика проведения расчетно-экспериментальных исследований релятивистских СКЛ. Приводятся необходимые определения коэффициентов связи, функции множественности (кратности) генерации вторичных частиц и функции отклика Баксанских



детекторов на первичный поток КЛ. Выполнено теоретическое обоснование для применения стандартного программного пакета CORSIKA при проведении моделирования и расчетов, указанных выше функций, в интересующем диапазоне энергий (1-100 ГэВ). При этом рассматриваются физическая и математическая модели атмосферы. Определяется эффективная граница атмосферы и околоземного пространства, являющаяся начальным условием для розыгрыша первичного потока КЛ. Описываются два метода моделирования первичного потока КЛ. Рассматривается процесс регистрации вторичных частиц в детекторах.

Во 2-й главе описываются результаты расчета функций кратности, отклика и сбора вторичных частиц для Баксанского комплекса наземных детекторов: АНДЫРЧИ, КОБЕР и БМД. Сравниваются два метода моделирования первичного потока КЛ и две разных версии стандартного программного пакета CORSIKA.

Приводятся расчетные кривые функций множественности (кратности) генерации вторичных частиц для установки АНДЫРЧИ при различных зенитных углах  $\vartheta = 0, 15, 20, 30$  и  $45$  градусов, а также для изотропного потока в зависимости от кинетической энергии первичных частиц  $E_K$ . При расчете функций кратности для изотропного потока проводилось численное интегрирование для каждой энергии  $E_K$  с использованием аппроксимации угловой зависимости функций кратности, как косинус в степени  $n(E_K)$ .

Получены расчетные кривые дифференциальных функций отклика для степенных энергетических спектров с разными показателями  $\gamma = 3, 4, 5$  и  $6$ , которые характерны для релятивистских солнечных космических лучей, в сравнении со спектром галактических космических лучей (ГКЛ). Показано, что чем больше показатель спектра, тем более узким становится диапазон энергии первичных частиц, дающих вклад в темп счета детектора, и тем больший вклад дают частицы малых энергий. Для количественного сравнения энергетических диапазонов чувствительности различных

детекторов и для различных видов первичных спектров используются медианная энергия –  $E_{med}$  и верхняя граница области чувствительности –  $E_{0.95}$ . Указанные величины сведены в таблицы.

В этой главе также рассматриваются стандартные условия регистрации, определение, вычисление и нормировка функций сбора вторичных частиц и удельной функции сбора (УФС). Проводится сравнение функций отклика и сбора одиночных вторичных частиц всех Баксанских наземных установок: АНДЫРЧИ, КОВЕР, БМД и БНМ. Сравнение функций сбора вторичных частиц представлено на рис.1.

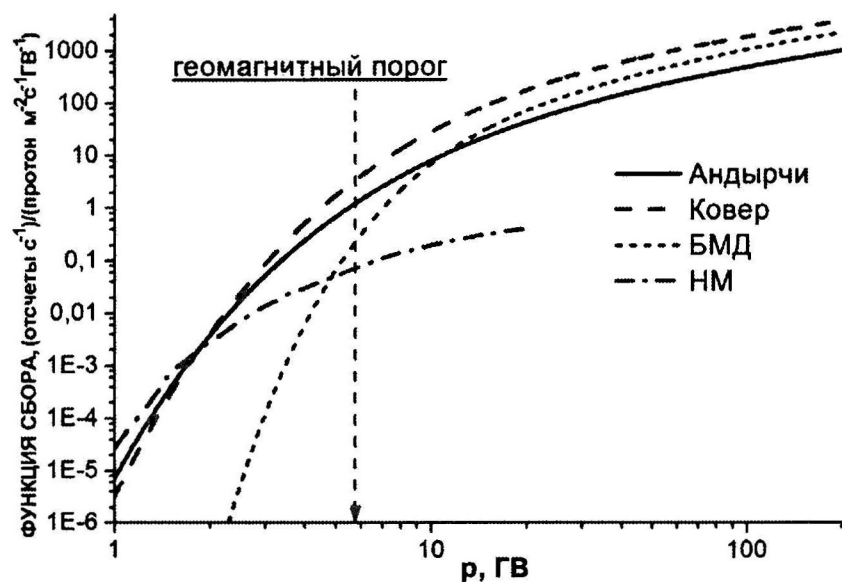


Рис. 1. Сравнение функций сбора одиночных вторичных частиц установок АНДЫРЧИ, КОВЕР, БМД и БНМ при вертикальном первичном потоке.

**Глава 3** посвящена использованию рассчитанных функций отклика для анализа экспериментальных данных Баксанских наземных установок и мировой сети нейтронных мониторов с целью получения характеристик релятивистских СКЛ.

Кратко описан метод и изложены результаты первичного анализа экспериментальных данных детекторов БНО с целью получения временных профилей и величины возрастаний СКЛ, используемых впоследствии для определения характеристик релятивистских солнечных протонов (РСП). Рассмотрены способы вычисления фона ГКЛ и коррекции (компенсации) известных атмосферных и других предполагаемых эффектов ГКЛ.

Приводятся результаты применения изложенной методики для анализа отдельных событий наземных возрастаний релятивистских СКЛ, связанных с мощными солнечными вспышками, которые дали наиболее статистически значимые сигналы на Баксанских наземных установках. Так подробно анализируются события GLE 29 сентября 1989 г, 15 апреля 2001 г. и 20 января 2005 г., зарегистрированные Баксанскими наземными установками. Для каждого события приводится сводка гелио- и геофизической обстановки, включая данные о вспышке на Солнце, состоянии ММП, геомагнитной возмущенности. Приводится сводная Таблица 1, включающая все события, зарегистрированные Баксанскими наземными установками.

Таблица 1. События GLE по 5-минутным данным Баксанских установок.

№ GLE	Дата	КОВЕР				АНДЫРЧИ				БМД			
		Нач.	Макс.	Прев.%	$\sigma$	Нач.	Макс.	Прев.%	$\sigma$	Нач.	Макс.	Прев.%	$\sigma$
36	811012	0736	0822	0.26	8.7								
38	821207	2356	2410	0.28	9.3								
39	840216	0856	0910	0.14	4.7								
42	890929	1144	1208	43.30	1443								
45	891024	1816	1834	0.48	16								
48	900524	2056	2114	0.36	12								
49	900526	2128	2214	0.76	25								
52	910615	0850	0920	0.66	4.1								
55	971106	—	—	—	—	1205	1235	0.27	5.0				
56	980502	1330	1350	0.43	14	1335	1400	0.40	7.4				
60	010415	1355	1420	0.47	16	1350	1415	0.59	10	1355	1550	0.18	4.4
61	010418	0215	0320	0.58	19	0220	0315	0.60	11	0215	0300	0.35	8.2
65	031028	1105	1145	0.66	22	1115	1140	0.81	15	1100	1145	0.21	5.2
66	031029	2140	2150	0.56	19	2140	2155	0.50	8.7	2140	2150	0.29	7.2
69	050120	0655	0715	0.85	28	—	—	—	—	0655	0710	0.25	6.2

Показано, что установки ШАЛ регистрировали возрастания СКЛ примерно в ~50% событий GLE, известных по данным нейтронных мониторов. Отсюда делается вывод о том, что верхний предел энергии релятивистских СКЛ в событиях на уровне Земли составляет не менее 5 ГэВ в половине событий GLE, регистрируемых нейтронными мониторами.

В этой главе также представлены спектры и другие характеристики релятивистских солнечных протонов, полученные при жесткостях выше 6 ГВ для события GLE 20 января 2005 г. Вычисления спектров начинаются с приведения к стандартным условиям регистрации экспериментальных откликов (возрастаний) установок АНДЫРЧИ, КОБЕР, БМД и нейтронных мониторов. Затем методом наименьших квадратов ищется решение задачи по оптимизации набора параметров потока РСП (жесткостной спектр,pitch-угловое распределение и направление оси анизотропии). В качестве исходных данных используются: набор параметров потока РСП, полученный по данным нейтронных мониторов, включая Баксанский НМ; временные профили возрастания на Баксанских установках ШАЛ; значения вычисленных нормированных функций сбора каждой установки.

**Приложение А** содержит результаты анализа экспериментальных данных за 1989 – 2006 гг. В графической форме, с разрешением 5 минут, приведены временные профили наземных возрастаний солнечных космических лучей (события GLE), зарегистрированные Баксанскими наземными установками: АНДЫРЧИ, КОБЕР, БМД и БНМ. Временные профили событий GLE представляют собой вариации темпа счета, вызванные потоком СКЛ и выраженные в процентах относительно фона ГКЛ.

**Приложение Б** содержит основные термины, обозначения и сокращения, используемые в работе.

### **Основные результаты:**

1. Выполнен анализ данных Баксанских наземных детекторов в течение 21-23 циклов солнечной активности (с 1981 г. по 2006 г.) с целью поиска

возрастаний СКЛ во время событий GLE. Впервые с помощью Баксанских детекторов ШАЛ АНДЫРЧИ и КОВЕР, а также Баксанского мюонного детектора были зарегистрированы и систематически изучены эффекты СКЛ: 15 возрастаний СКЛ из 31 исследованного события GLE.

2. Амплитуда сигнала практически во всех случаях составляет десятки доли процента. Такие возрастания не могут быть зафиксированы на стандартных нейтронных мониторах при такой же (или большей) жесткости геомагнитного обрезания ( $\sim 6$  ГВ).

3. Показано, что Баксанские установки регистрировали возрастания СКЛ в  $\sim 50\%$  событий GLE, известных по данным нейтронных мониторов. Отсюда делается вывод о том, что верхний предел энергии релятивистских СКЛ в событиях на уровне Земли составляет не менее 5 ГэВ в половине событий GLE, регистрируемых нейтронными мониторами.

4. Рассчитаны функции отклика на различные первичные спектры и функции сбора одиночных вторичных частиц для трех Баксанских детекторов: АНДЫРЧИ, КОВЕР и БМД. Эти функции необходимы для определения спектров и других характеристик СКЛ при энергии выше 5 ГэВ в событиях GLE. Полученные функции сбора и функции отклика по величине существенно превышают соответствующие значения для нейтронных мониторов. Это обеспечивает высокую эффективность использования Баксанских наземных детекторов при исследовании СКЛ, а также возможность продолжить спектр СКЛ в область энергий выше 5 ГэВ.

5. Впервые, для некоторых наиболее значимых событий GLE, получены спектры и другие характеристики релятивистских солнечных протонов при энергии выше 5 ГэВ, с использованием данных наземных установок Баксанского исследовательского комплекса. Изучена динамика изменения потока релятивистских СКЛ в событии GLE 20 января 2005 г.

6. Баксанские детекторы оказались гораздо более чувствительными к релятивистским СКЛ с энергией выше 5 ГэВ по сравнению с нейтронными мониторами. Благодаря их большей площади, большей чувствительности и

лучшей статистической точности, появился новый информационный канал для исследования СКЛ в высокоэнергичной части спектра.

**Основные результаты достаточно полно изложены в публикациях:**

1. Карпов С.Н., Алексеев В.В., Заиченко А.Н., Карпова З.М., Петков В.Б., Поддубный В.Я., Хаердинов Н.С., Исследование солнечных космических лучей высокой энергии. // 2003, Кинематика и физика небесных тел, Приложение, № 4, с.153-157.
2. S.N.Karpov, V.V.Alekseenko, D.D.Djappuev, Z.M.Karpova, N.S.Khaerdinov, V.B.Petkov, A.V.Radchenkov, A.N.Zaichenko, GLE Observations in 23rd Solar Cycle at the Baksan Air Shower Arrays Andyrchy and Carpet. // 2003, Proc. 28th Int. Cosmic Ray Conf., Tsukuba, SH1.4, p.3427-3430.
3. S.N.Karpov, V.V.Alekseenko, Z.M.Karpova, N.S.Khaerdinov, V.B.Petkov, Yield and Response Functions of the Baksan EAS-Array Andyrchy for Single Component. // 2003, Proc. 28th Int. Cosmic Ray Conf., Tsukuba, SH1.5, p.3457-3460.
4. С.Н.Карпов, Э.В.Вашенюк, В.И.Волченко, Д.Д.Джаппуев, З.М.Карпова, А.У.Куджаев, В.Б.Петков, А.В.Радченков, А.Ф.Янин, В.Г.Янке, События GLE 23-го цикла солнечной активности по данным Баксанских ливневых установок Андырчи и Ковер и нового Баксанского нейтронного монитора. // 2005, Известия РАН, серия физическая, т.69, № 6, с. 796-799.
5. S.N.Karpov, Z.M.Karpova, V.B.Petkov, E.V.Vashenyuk and V.G.Yanke, New neutron monitor station in Baksan valley. // 2005, International Journal of Modern Physics A, v.20, No.29, pp.6696-6698.
6. S.N. Karpov, Z.M. Karpova, Yu.V. Balabin and E.V. Vashenyuk. Study of the GLE events with use of the EAS-arrays data. // 2005, Proc. 29th ICRC, Pune, v.1, pp.193-196.
7. S.N. Karpov, Z.M. Karpova and A.B. Chernyaev. Multiplicity, yield and response functions for Baksan EAS-arrays and Muon Detector in comparison with similar functions of Neutron Monitors. // 2005, Proc. 29th ICRC, Pune, v.1, pp.261-264.
8. Z.M. Karpova, S.N. Karpov and Chernyaev, Using the extensive air showers detectors for study of solar cosmic rays. // 2006, Proc. 29 Annual Seminar, Apatity, pp. 187-190.
9. З.М. Карпова, Ю.В. Балабин, Э.В. Вашенюк, С.Н. Карпов, Получение спектров релятивистских СКЛ с использованием данных Баксанских детекторов ШАЛ. //2007, Известия РАН, серия физическая, т.71, №7, с. 972-975.

Подписано в печать 25.03.2008 г.  
Формат 60х84/16. Печ. л. 1.  
Тираж 100 экз. Заказ 1348.

Издательство «Тровант»  
ЛР 071961 от 01.09.1999 г.

Отпечатано с готового оригинал-макета  
в типографии издательства «Тровант».  
142191, г. Троицк Московской обл., м-н «В», д. 52.  
Тел. (495) 334-09-67, (4967) 50-21-81  
E-mail: [trovant@ttk.ru](mailto:trovant@ttk.ru), <http://www.trovant.ru/>

